

## Laufschaufel für Gasturbinenrotoren und Verfahren zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung

Die Erfindung betrifft eine Laufschaufel für Gasturbinenrotoren nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 1. Des weiteren betrifft die Erfindung ein Verfahren zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung nach dem Oberbegriff des Patentanspruchs 12.

Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung bezeichnet man abhängig davon, ob ein scheibenförmiger oder ein ringförmiger Rotor bzw. Rotorträger vorhanden ist, als Blisk oder als Bling. Scheibenförmige Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung bezeichnet man als Blisk (Bladed Disk) und ringförmige Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung bezeichnet man als Bling (Bladed Ring).

Aus dem Stand der Technik ist es bekannt, Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung durch sogenanntes Fräsen aus dem Vollen herzustellen. Das Fräsen aus dem Vollen findet vor allem bei der Herstellung von relativ kleinen Gasturbinenrotoren Verwendung. So eignet sich das Fräsen aus dem Vollen insbesondere für die Serienfertigung von Blisks oder Blings mit relativ kleinen Titan-Schaufelblättern. Das Fräsen von Blisks oder Blings aus einer Nickellegierung ist wegen der schlechten Zerspanbarkeit des Werkstoffs problematisch.

Ein weiteres aus dem Stand der Technik bekanntes Verfahren zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung ist das Anfügen von fertigen Laufschaufeln an den Rotorträger bzw. die Nabe durch sogenanntes lineares Reibschweißen, welches auch als Linear Friction Welding bezeichnet wird. Beim linearen Reibschweißen ist eines der zu fügenden Teile fest eingespannt, während das andere Teil linear oszilliert und mit Druck auf das fest eingespannte Teil gepresst wird. Die Reibung erwärmt den Bereich der Schweißzone auf Schmiedetemperatur und durch den Druck entsteht eine Schweißwulst im Fügebereich. Bei der Herstellung von relativ großen Gasturbinenrotoren bzw. von Gasturbinenrotoren mit relativ großen Schaufelblättern ist das lineare Reibschweißen wirtschaftlicher und kostengünstiger als das Fräsen aus dem Vollen.

Hiervon ausgehend liegt der vorliegenden Erfindung das Problem zu Grunde, eine neuartige Laufschaufel für Gasturbinenrotoren und ein neuartiges Verfahren zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung vorzuschlagen.

Dieses Problem wird dadurch gelöst, dass die eingangs genannte Laufschaufel durch die Merkmale des kennzeichnenden Teils des Patentanspruchs 1 weitergebildet ist.

Erfindungsgemäß ist der Schaufelfuß der Laufschaufel zur Herstellung eines Gasturbinenrotors mit integraler Beschaukelung mittels Kondensator-Entladungs-Schweißen, insbesondere mittels Kondensator-Entladungs-Pressschweißen, derart angepasst, dass der Schaufelfuß zumindest abschnittsweise im Querschnitt V-förmig ausgebildet ist.

Nach einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung weist der Schaufelfuß in einem Bereich, der zwischen dem Schaufelblatt und dem im Querschnitt V-förmig ausgebildeten Bereich angeordnet ist, einen zur Presskrafteinleitung angepassten Querschnitt auf. Vorzugsweise verfügt der Schaufelfuß zur Presskrafteinleitung über mindestens einen in Längsrichtung des Schaufelfußes verlaufenden Vorsprung oder mindestens eine in Längsrichtung verlaufende Nut.

Das erfindungsgemäße Verfahren zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung ist durch die Merkmale des unabhängigen Patentanspruchs 12 gekennzeichnet.

Bevorzugte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Unteransprüchen und der nachfolgenden Beschreibung.

Ausführungsbeispiele der Erfindung werden, ohne hierauf beschränkt zu sein, an Hand der Zeichnung näher erläutert. In der Zeichnung zeigt:

- Fig. 1: eine erfindungsgemäße Laufschaufel für Gasturbinenrotoren nach einem ersten Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer schematisierten, perspektivischen Seitenansicht;
- Fig. 2: einen Ausschnitt aus der Laufschaufel gemäß Fig. 1 im Querschnitt;
- Fig. 3: die Laufschaufel gemäß Fig. 1 in Draufsicht;
- Fig. 4: eine erfindungsgemäße Laufschaufel für Gasturbinenrotoren nach einem zweiten Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer Ansicht analog zu Fig. 3;
- Fig. 5: eine erfindungsgemäße Laufschaufel für Gasturbinenrotoren nach einem dritten Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer Ansicht analog zu Fig. 3 und 4;
- Fig. 6: eine erfindungsgemäße Laufschaufel für Gasturbinenrotoren nach einem vierten Ausführungsbeispiel der Erfindung in einer schematisierten, perspektivischen Seitenansicht; und
- Fig. 7: einen Ausschnitt eines Gasturbinenrotors mit einer an den Gasturbinenrotor gefügten, erfindungsgemäßen Laufschaufel im schematisierten Querschnitt.

Die vorliegende Erfindung wird nachfolgend unter Bezugnahme auf Fig. 1 bis 7 in größerem Detail beschrieben. Fig. 1 bis 6 zeigen erfindungsgemäße Laufschaufeln für Gasturbinenrotoren zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung. Fig. 7 zeigt einen Ausschnitt aus einem Gasturbinenrotor mit einer an den Gasturbinenrotor gefügten Laufschaufel, wobei die Anordnung gemäß Fig. 7 nicht den endgültigen Gasturbinenrotor zeigt, sondern lediglich ein Zwischenprodukt bei der Herstellung desselben.

Im Sinne der hier vorliegenden Erfindung wird vorgeschlagen, Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaufelung dadurch herzustellen, dass die Laufschaufeln für sich getrennt hergestellt werden und dass anschließend die hergestellten Laufschaufeln an einen Rotorträger gefügt werden. Das Fügen der Laufschaufeln an den Rotorträger zur Herstellung eines Gasturbinenrotors mit integraler Beschaufelung erfolgt im Sinne der hier vorliegenden Erfindung durch Kondensator-Entladungs-Schweißen, insbesondere durch Kondensator-Entladungs-Pressschweißen.

Bevor auf die einzelnen Verfahrensschritte zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaufelung im Detail eingegangen wird, sollen nachfolgend die Details der erfindungsgemäßen Laufschaufel beschrieben werden, die erfindungsgemäß an das Kondensator-Entladungs-Schweißen, nämlich das Kondensator-Entladungs-Pressschweißen, angepasst ist.

Fig. 1 zeigt eine erfindungsgemäße Laufschaufel 10 in einer perspektivischen Seitenansicht, die an eine Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaufelung mittels Kondensator-Entladungs-Pressschweißen angepasst ist. Die Laufschaufel 10 gemäß Fig. 1 verfügt über ein Schaufelblatt 11 und einen sich an das Schaufelblatt 11 anschließenden Schaufelfuß 12. Der Schaufelfuß 12 ist erfindungsgemäß zur Herstellung eines Gasturbinenrotors mit integraler Beschaufelung mithilfe des Kondensator-Entladungs-Pressschweißen derart angepasst, dass der Schaufelfuß 12 zumindest abschnittsweise im Querschnitt V-förmig ausgebildet ist. So kann Fig. 1 entnommen werden, dass der Schaufelfuß 12 in einem unteren, vom Schaufelblatt 11 abgewandten Bereich 13 im Querschnitt V-förmig ausgebildet ist.

Dieser V-förmige Bereich 13 dient beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen der Kontaktierung der Laufschaufel 10 mit einem nicht-dargestellten, scheibenförmigen oder ringförmigen Rotor bzw. Rotorträger. Beim Kontaktieren der Laufschaufel 10 mit dem Rotor bzw. Rotorträger berührt demnach die Laufschaufel 10 den Rotor mit einem spitz zusammenlaufenden Ende 14 des V-förmigen Bereichs 13. Ausgehend vom spitz zusammenlaufenden Ende 14 des Bereichs 13 erweitert sich derselbe zum Schaufelblatt 10 hin, bis er die Breite  $d$  des Schaufelfußes 12 aufweist und in diesen übergeht. Wie Fig. 1 entnommen werden kann, erstreckt sich der V-förmige

Bereich 13 über die gesamte Länge  $l$  der Laufschaufel 10 bzw. des Schaufelblatts 11. Wie ebenfalls Fig. 1 entnommen werden kann, wird der V-förmige Bereich 13 im Querschnitt durch einen Öffnungswinkel  $\alpha$  bestimmt. Der Öffnungswinkel  $\alpha$  beträgt vorzugsweise in etwa  $70^\circ$ .

Wie insbesondere Fig. 2 entnommen werden kann, die einen Querschnitt durch den Schaufelfuß 12 und den V-förmigen Bereich 13 zeigt, bildet das spitz zusammenlaufende Ende 14 des V-förmigen Bereichs 13 einen Stumpf mit einer definierten Breite  $b$ , die vorzugsweise im Bereich von weniger als 1 cm, vorzugsweise 0,1 cm liegt.

Fig. 1 kann entnommen werden, dass die erfindungsgemäße Laufschaufel 10 in einem Bereich 15, der zwischen dem im Querschnitt V-förmig ausgebildeten Bereich 13 und dem Schaufelblatt 11 angeordnet ist, einen zur Presskrafteinleitung beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen angepassten Querschnitt aufweist. Gemäß Fig. 1 verfügt die erfindungsgemäße Laufschaufel 10 hierzu zu beiden Seiten über jeweils einen Vorsprung 16 bzw. 17. Die Vorsprünge 16 und 17 erstrecken sich in Längsrichtung des Schaufelfußes 12 über die gesamte Länge  $l$  desselben. Die Vorsprünge 16 und 17 bilden Schultern, über welche die beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen erforderliche Presskraft sicher und definiert mithilfe eines an den Vorsprüngen 16 und 17 formschlüssig angreifenden Werkzeugs eingebracht werden kann.

Fig. 6 zeigt eine Laufschaufel 18 nach einem alternativen Ausführungsbeispiel der hier vorliegenden Erfindung. Die Laufschaufel 18 gemäß Fig. 6 entspricht im Wesentlichen der Laufschaufel 10 gemäß Fig. 1. Daher werden für gleiche Baugruppen gleiche Bezugsziffern verwendet. Die Laufschaufel 18 gemäß Fig. 6 unterscheidet sich von der Laufschaufel 10 gemäß Fig. 1 lediglich dadurch, dass zur Presskrafteinleitung keine Vorsprünge vorhanden sind, sondern vielmehr Nuten 19 und 20. Die Nuten 19 und 20 erstrecken sich wiederum zu beiden Seiten des Schaufelfußes 12 bzw. der Laufschaufel 10 über die gesamte Länge  $l$  derselben, wobei zu jeder Seite des Schaufelblatts 11 bzw. Schaufelfußes 12 jeweils eine derartige Nut 19 bzw. 20 verläuft. In die Nuten 19 und 20 kann ein Werkzeug formschlüssig eingreifen, um die

beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen erforderliche Presskraft sicher und definiert bereitzustellen.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass selbstverständlich auch eine Ausführungsform der erfindungsgemäßen Laufschaufel vorstellbar ist, bei der weder die Vorsprünge 16 und 17 noch die Nuten 19 und 20 vorhanden sind. So ist es möglich, dass die Laufschaufel im Bereich 15 zwischen dem Schaufelblatt 11 und dem im Querschnitt V-förmig ausgebildeten Bereich 13 eine Querschnittsfläche aufweist, die dem kraftschlüssigen bzw. reibschlüssigen Einbringen der beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen erforderlichen Presskraft dient. Eine Ausgestaltung der Laufschaufel mit den Vorsprüngen 16 und 17 bzw. Nuten 19 und 20 zur Presskraft-einleitung ist jedoch bevorzugt.

Fig. 3 zeigt stark schematisiert eine Draufsicht auf die Laufschaufel 10 gemäß Fig. 1, wobei zur Verdeutlichung der geometrischen Abmessungen des Schaufelfußes 12 in Fig. 3 auf die Darstellung der Vorsprünge 16 und 17 verzichtet worden ist. So kann Fig. 3 entnommen werden, dass die Laufschaufel 10 gemäß Fig. 1 im Bereich des Schaufelfußes 12 über eine rechteckförmige Grundfläche mit der Länge  $l$  und der Breite  $d$  verfügt. Das spitz zusammenlaufende Ende 14 des im Querschnitt V-förmigen Bereichs 13 verläuft mittig und parallel zu den Begrenzungen des Schaufelfußes 12. Fig. 4 und 5 zeigen alternative Ausgestaltungen von erfindungsgemäßen Laufschaufeln im Bereich des Schaufelfußes 12. So verfügt der Schaufelfuß gemäß Fig. 4 über eine trapezförmige Grundfläche und der Schaufelfuß 12 gemäß Fig. 5 über eine trapezförmige Grundfläche mit gekrümmter, seitlicher Begrenzung. Das spitz zusammenlaufende Ende 14 des im Querschnitt V-förmigen Bereichs 13 verläuft wiederum mittig und parallel zu den seitlichen Begrenzungen des jeweiligen Schaufelfußes 12. Die Ausführungsform gemäß Fig. 4 und 5 verfügt gegenüber der Ausführungsform gemäß Fig. 3 über den Vorteil, dass bei trapezförmig ausgebildeten Grundflächen des Schaufelfußes 12 die Kontur des Schaufelfußes 12 an die Kontur des Schaufelblatts 11 angepasst ist und damit die Grundfläche des Schaufelfußes 12 kleiner ausgelegt werden kann. Hierdurch kann die beim Kondensator-Entladungs-Schweißen erforderliche Schweißenergie geringer sein als bei einer rechteckförmigen Grundfläche gemäß Fig. 3.



Wie bereits mehrfach erwähnt, sind die erfindungsgemäßen Laufschaufeln dahingehend angepasst, dass die erfindungsgemäßen Laufschaufeln zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung durch Kondensator-Entladungs-Pressschweißen angepasst sind. Bei der Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung mithilfe des Kondensator-Entladungs-Pressschweißens und der erfindungsgemäßen Laufschaufeln wird nach dem erfindungsgemäßen Verfahren wie folgt vorgegangen:

Zuerst werden die Laufschaufeln hergestellt, wie sie zum Beispiel in Fig. 1 bis 6 dargestellt sind. Diese Laufschaufeln verfügen über ein Schaufelblatt und einen sich an das Schaufelblatt anschließenden Schaufelfuß, wobei der Schaufelfuß zumindest abschnittsweise im Querschnitt V-förmig ausgebildet ist. Daraufgehend werden die hergestellten Laufschaufeln mit dem spitz zusammenlaufenden Ende 14 des jeweiligen im Querschnitt V-förmigen Bereichs 13 auf dem Rotor bzw. Rotorträger positioniert, wobei das spitz zusammenlaufende Ende 14 auf einer Mantelfläche des Rotorträgers aufsteht. Die auf dem Rotorträger positionierten Laufschaufeln werden dann an mindestens einen Kondensator angeschlossen. Zum Kondensator-Entladungs-Pressschweißen wird dann der oder jeder Kondensator entladen, wobei hierdurch ein Strom durch den jeweiligen im Querschnitt V-förmig ausgebildeten Bereich 13 des Schaufelfußes 12 fließt und bedingt durch die beim Stromfluss entstehende Wärme das Material von Rotorträger und Schaufelfuß 12 im Bereich 13 zur Bildung einer Schweißfuge auf Schweißtemperatur erwärmt wird. Gleichzeitig wird die erforderliche Presskraft auf die Laufschaufeln 10 eingebracht, wodurch die Laufschaufel 10 zumindest im Bereich 13 gestaucht wird.

Fig. 7 zeigt einen Ausschnitt aus einem Rotor 21, wie er im Anschluss an das Verschweißen einer Laufschaufel 10 mit einem Rotorträger bzw. einer ringförmigen oder scheibenförmigen Nabe 22 vorliegt. Wie Fig. 7 entnommen werden kann, geht der im Querschnitt V-förmige Bereich 13 beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen vollständig in eine Fügezone bzw. Schweißnaht 23 über.

Nachdem die Laufschaufeln mit dem Rotorträger bzw. der Nabe durch Kondensator-Entladungs-Pressschweißen zusammengefügt worden sind, erfolgt eine Endbearbeitung im Übergangsbereich zwischen den Laufschaufeln und der Nabe. Bei dieser Endbearbeitung werden Verdickungen und/oder Materialüberstände und/oder Schweißkerben abgearbeitet, bis die Endkontur des gewünschten Gasturbinenrotors mit integraler Beschaukelung vorliegt. In Fig. 7 ist gestrichelt eine Kontur 24 gezeigt, wie sie im Bereich der Laufschaufeln 10 nach der Endbearbeitung vorliegt. Diese Endbearbeitung kann zum Beispiel durch adaptives Fräsen oder elektrochemische Bearbeitung erfolgen. Beim adaptiven Fräsen wird das Profil des mithilfe des Kondensator-Entladungs-Pressschweißens gefertigten Gasturbinenrotors gemessen und aus einem Vergleich dieses Messwerts mit einem Sollprofil wird ein Steuerungsprogramm zum Fräsen generiert. Unter dem Begriff der elektrochemischen Bearbeitung werden Bearbeitungsverfahren bestanden, bei denen das Prinzip des Materialabtrags auf einer anodischen Materialauflösung während einer Elektrolyse beruht. Die Details der Verfahren zur Endbearbeitung des Gasturbinenrotors sind dem hier angesprochenen Fachmann geläufig.

Wie Fig. 7 zeigt, können sich beim Fügen der Laufschaufeln 10 mit der Nabe 22 Schweißdefekte in Form von Randkerben 25 ausbilden. Auch diese Randkerben werden bei der Endbearbeitung mithilfe des adaptiven Fräsens oder der elektrochemischen Bearbeitung entfernt, so dass ein fehlerfreier, hochpräziser Gasturbinenrotor mit integraler Beschaukelung vorliegt.

In diesem Zusammenhang sei angemerkt, dass dann, wenn beim Fügen mittels Kondensator-Entladungs-Pressschweißen eine Laufschaufel verwendet wird, wie sie in Fig. 6 dargestellt wird, die Tiefe der Nuten 19 und 20 kleiner gewählt werden sollte als die zu erwartende, laterale Ausdehnung der Randkerben 25.

Die durch die Kondensatorentladung bereitgestellte Schweißenergie kann ggf. durch Verwendung zusätzlicher Energiequellen erhöht werden. So kann neben der Kondensatorentladung noch eine induktive Erwärmung der Schweißzone durchgeführt werden.



Mithilfe des Kondensator-Entladungs-Pressschweißens können sowohl Gasturbinenrotoren auf Nickelbasislegierungen als auch auf Titanbasislegierungen hergestellt werden. Bei der Verwendung von Titanbasislegierungen ist es erforderlich, den Schweißbereich von Umgebungsluft abzuschirmen. In diesem Fall erfolgt das Kondensator-Entladungs-Pressschweißen unter Schutzgasatmosphäre in einer entsprechend ausgebildeten Schutzgasglocke.

Beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen sind im Gegensatz zum linearen Reibschweißen keine Höcker auf dem Rotorträger bzw. auf der Nabe erforderlich. Die Laufschaufeln können mit dem spitz zusammenlaufenden Ende 14 des Bereichs 13 unmittelbar auf der Mantelfläche der Nabe positioniert werden. Das Verfahren zur Herstellung der Gasturbinenrotoren mittels Kondensator-Entladungs-Pressschweißen ist kostengünstig und robust. Es verfügt nur über wenige Einstellparameter, wie Kondensatorentladungsenergie, Presskrafteinleitung, Winkel  $\alpha$  des V-förmigen Bereichs von Schaufelfuß und die Art und Weise der Kontaktierung des oder jeden zu entladenden Kondensators mit der jeweiligen Laufschaufeln.

Die Kontaktierung für den erforderlichen Stromfluss erfolgt schaufelseitig in Verbindung mit der erforderlichen Presskraft im Bereich des Schaufelfußes der Laufschaufel und nabenseitig in einem Bereich des Rotorträgers, der bei der Herstellung der Endkontur des integral beschaufelten Gasturbinenrotors mechanisch noch nachbearbeitet werden muss.

Ein weiterer Vorteil liegt darin, dass endkonturnahe Laufschaufeln beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen eingesetzt werden können. Die erforderliche Endbearbeitung kann demnach auf ein Minimum reduziert werden. Die Positionierungsgenauigkeit der Laufschaufeln auf der Nabe bzw. dem Rotorträger ist sehr hoch, da im Gegensatz zum linearen Reibschweißen keine Relativbewegung zwischen den Laufschaufeln und der Nabe stattfindet.

## Patentansprüche

1. Laufschaufel für Gasturbinenrotoren zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschau felung, mit einem Schaufelblatt (11) und einem sich an das Schaufelblatt (11) anschließenden Schaufelfuß (12), **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelfuß (12) zur Herstellung eines Gasturbinenrotors mit integraler Beschau felung mittels Kondensator-Entladungs-Schweißen derart angepasst ist, dass der Schaufelfuß (12) zumindest abschnittsweise im Querschnitt V-förmig ausgebildet ist.
2. Laufschaufel nach Anspruch 1, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelfuß (12) zur Herstellung eines Gasturbinenrotors mit integraler Beschau felung mittels Kondensator-Entladungs-Pressschweißen angepasst ist.
3. Laufschaufel nach Anspruch 1 oder 2, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelfuß (12) in einem Bereich (13), der beim Kondensator-Entladungs-Schweißen, vorzugsweise beim Kondensator-Entladungs-Pressschweißen, der Kontaktierung von Rotor und Laufschaufel dient, im Querschnitt V-förmig ausgebildet ist.
4. Laufschaufel nach Anspruch 3, **dadurch gekennzeichnet, dass** ein spitz zusammenlaufendes Ende (14) des im Querschnitt V-förmigen Bereichs (13) der Kontaktierung des Rotors dient, wobei der Bereich sich ausgehend von dem spitz zusammenlaufendes Ende (14) zum Schaufelblatt (11) hin im Querschnitt erweitert.
5. Laufschaufel nach einem oder mehreren der Anspruche 1 bis 4, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelfuß (12) in einem Bereich (15), der zwischen dem Schaufelblatt (11) und dem im Querschnitt V-förmig ausgebildeten Bereich (13) angeordnet ist, einen zur Presskrafteinleitung angepassten Querschnitt aufweist.

6. Laufschaufel nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelfuß (12) zur Presskrafteinleitung mindestens einen Vorsprung (16, 17) aufweist.
7. Laufschaufel nach Anspruch 6, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich der oder jeder Vorsprung (16, 17) in Längsrichtung des Schaufelfußes (12) erstreckt.
8. Laufschaufel nach Anspruch 6 oder 7, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu beiden Seiten des Schaufelfußes (12) jeweils ein, eine Schulter bildender Vorsprung (16, 17) angeordnet ist.
9. Laufschaufel nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 5, **dadurch gekennzeichnet, dass** der Schaufelfuß (12) zur Presskrafteinleitung mindestens eine Nut (19, 20) aufweist.
10. Laufschaufel nach Anspruch 9, **dadurch gekennzeichnet, dass** sich die oder jede Nut (19, 20) in Längsrichtung des Schaufelfußes (12) erstreckt.
11. Laufschaufel nach Anspruch 9 oder 10, **dadurch gekennzeichnet, dass** zu beiden Seiten des Schaufelfußes (12) jeweils eine Nut (19, 20) angeordnet ist.
12. Verfahren zur Herstellung von Gasturbinenrotoren mit integraler Beschau-  
fung, wobei mehrere Laufschaufeln auf einem Rotorträger, insbesondere  
auf einer Scheibe oder einem Ring, durch ein Schweißverfahren befestigt  
werden, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Laufschaufeln auf dem Rotor-  
träger mittels Kondensator-Entladungs-Schweißen befestigt werden.
13. Verfahren nach Anspruch 12, **dadurch gekennzeichnet, dass** die Lauf-  
schaufeln auf dem Rotorträger mittels Kondensator-Entladungs-  
Pressschweißen befestigt werden.

14. Verfahren nach Anspruch 12 oder 13, **gekennzeichnet durch folgende Schritte:**
- a) Herstellen von Laufschaufeln mit einem Schaufelblatt und einem sich an das Schaufelblatt anschließenden Schaufelfuß, wobei der Schaufelfuß zur Herstellung eines Gasturbinenrotors mit integraler Beschaukelung mittels Kondensator-Entladungs-Schweißen derart angepasst ist, dass der Schaufelfuß zumindest abschnittsweise im Querschnitt V-förmig ausgebildet ist,
  - b) Positionieren mindestens einer hergestellten Laufschaufel auf dem Rotorträger,
  - c) Anschließen der oder jeder auf dem Rotorträger positionierten Laufschaufel an mindestens einen Kondensator,
  - d) Leiten von Strom durch den oder jeden im Querschnitt V-förmigen Abschnitt der oder jeder Laufschaufel durch Entladen des oder jeden Kondensators, wobei hierdurch die oder jede Laufschaufel mit dem Rotorträger verschweißt wird,
  - e) Abarbeiten von Verdickungen und/oder Materialüberständen und/oder Schweißkerben auf Endkonturen des Gasturbinenrotoren mit integraler Beschaukelung.
15. Verfahren nach Anspruch 14, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Positionieren gemäß Schritt b) die oder jede Laufschaufel den Rotor mit einem spitz zusammenlaufenden Ende des jeweiligen im Querschnitt V-förmigen Bereichs kontaktiert, wobei der Bereich sich ausgehend von dem spitz zusammenlaufenden Ende zum Schaufelblatt hin im Querschnitt erweitert.
16. Verfahren nach Anspruch 14 oder 15, **dadurch gekennzeichnet, dass** beim Schweißen gemäß Schritt d) gleichzeitig eine Presskraft auf die oder jede Laufschaufel eingeleitet wird.
17. Verfahren nach Anspruch 14, 15 oder 16, **dadurch gekennzeichnet, dass** das Abarbeiten von Verdickungen und/oder Materialüberständen und/oder

Schweißkerben gemäß Schritt e) durch Fräsen oder durch elektrochemische Bearbeitung erfolgt.

18. Verfahren nach einem oder mehreren der Ansprüche 12 bis 17, **dadurch gekennzeichnet, dass** Laufschaufeln nach einem oder mehreren der Ansprüche 1 bis 11 verwendet werden.





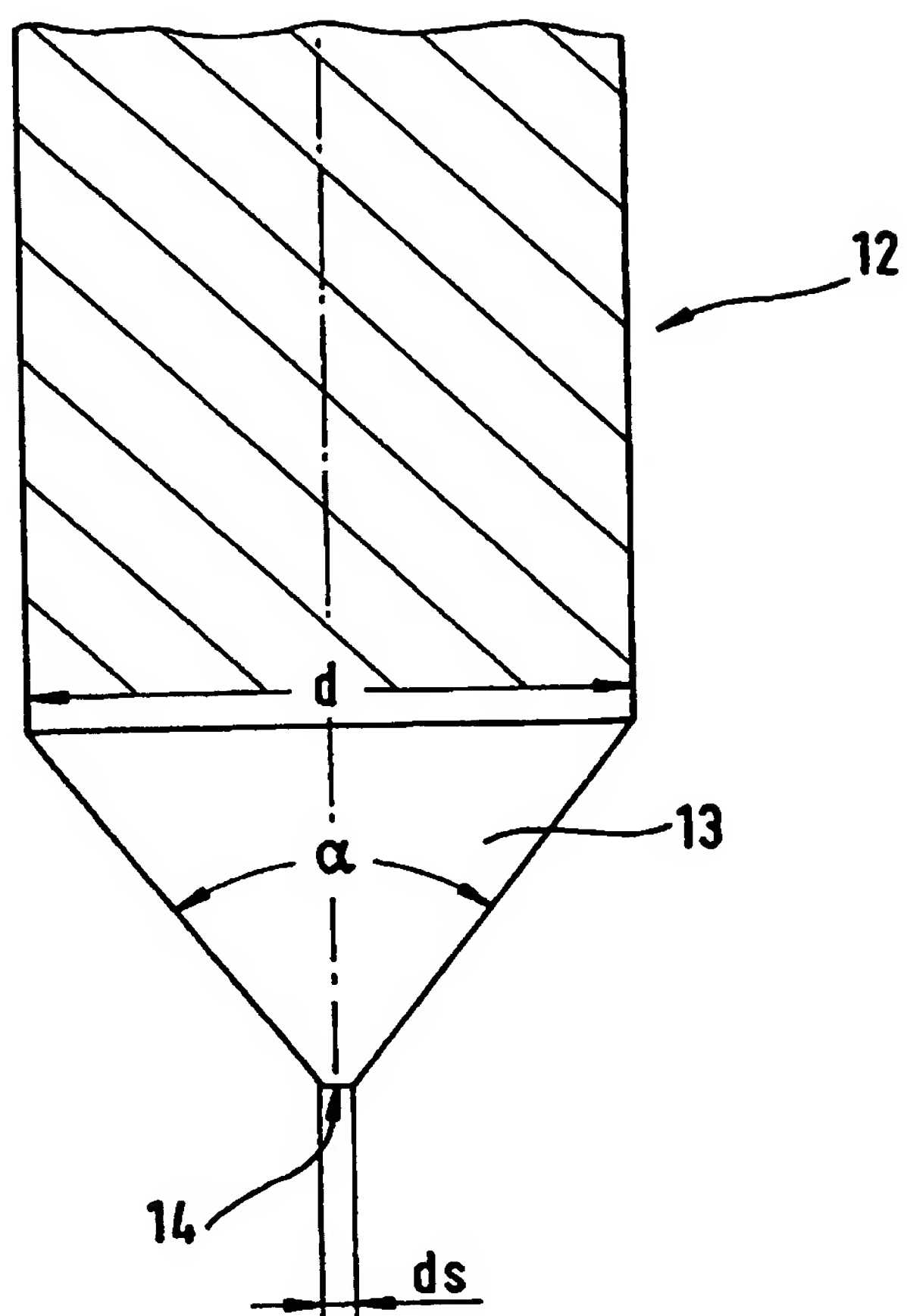


Fig. 2

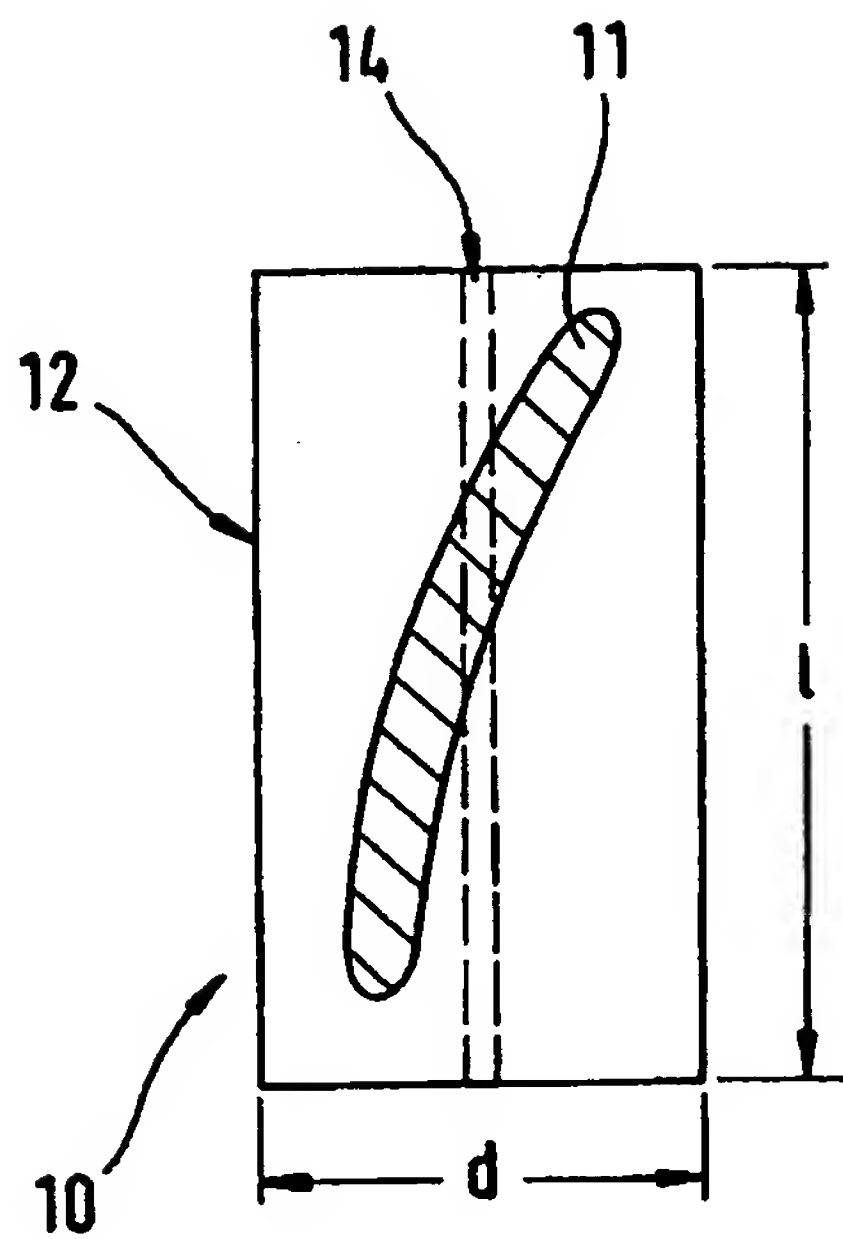


Fig. 3

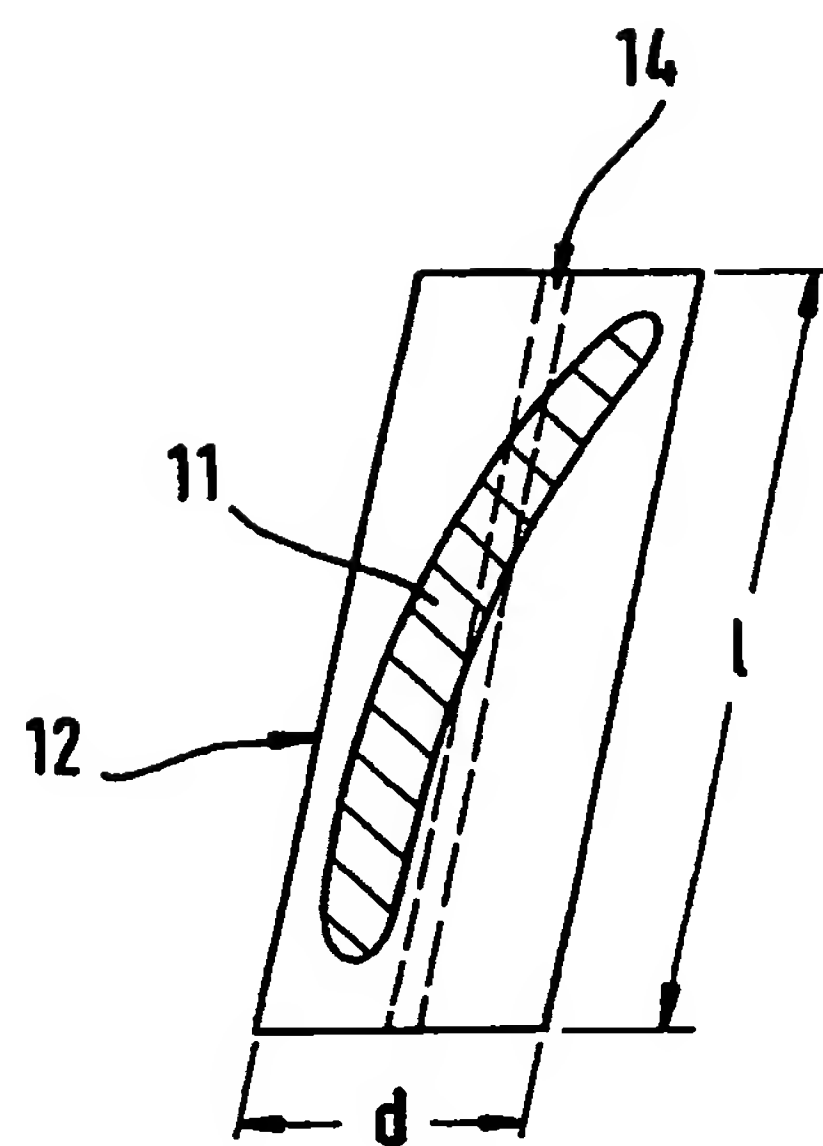


Fig. 4

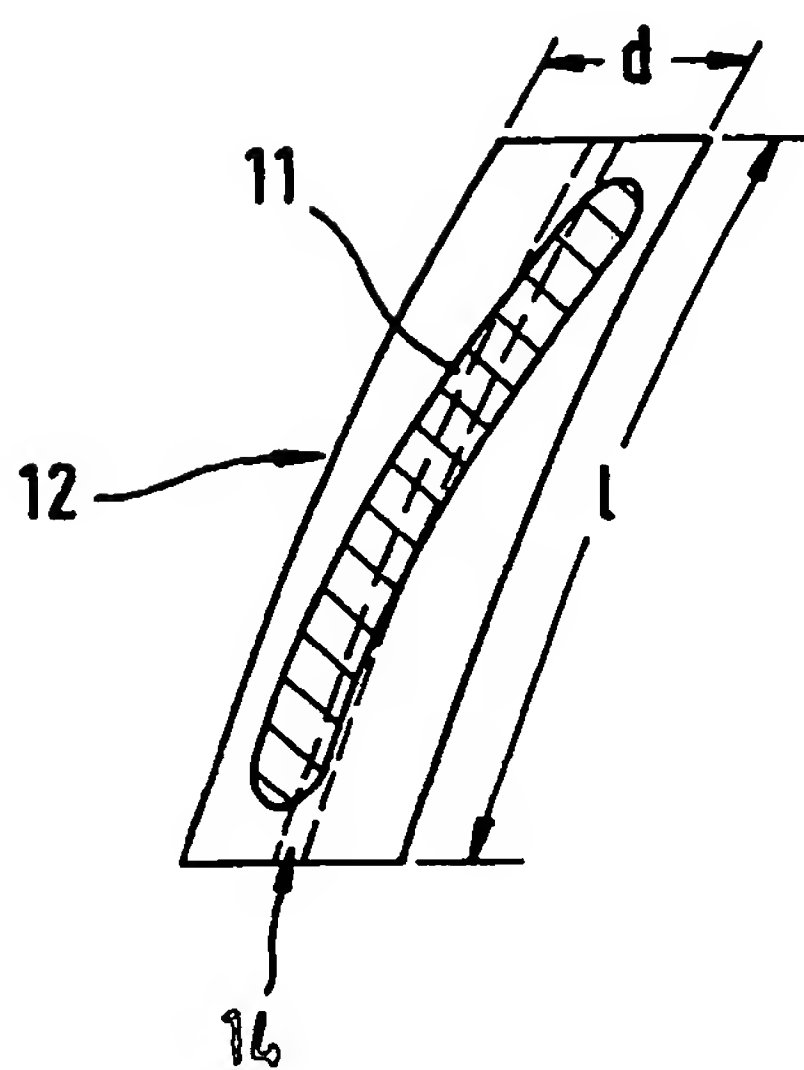
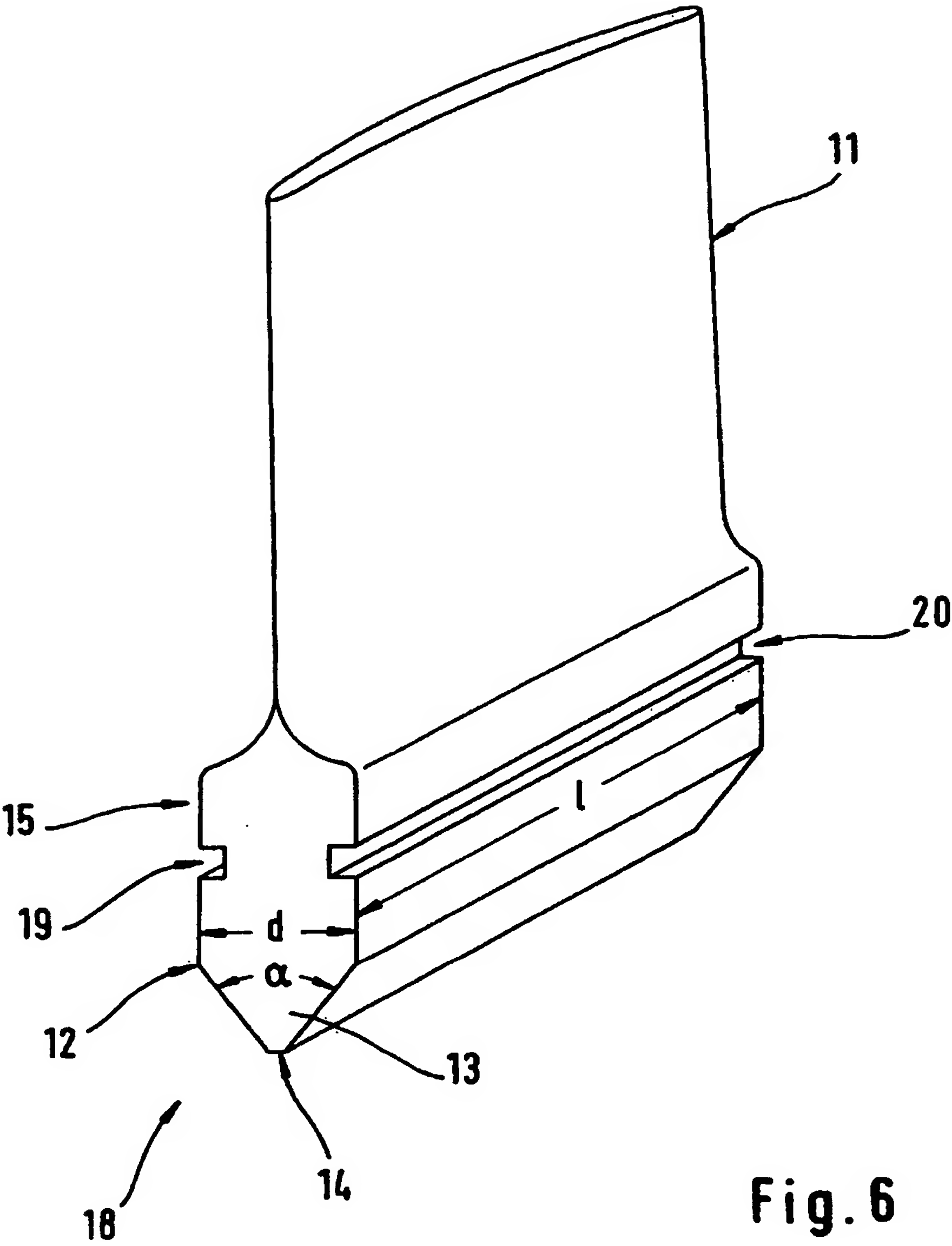


Fig. 5



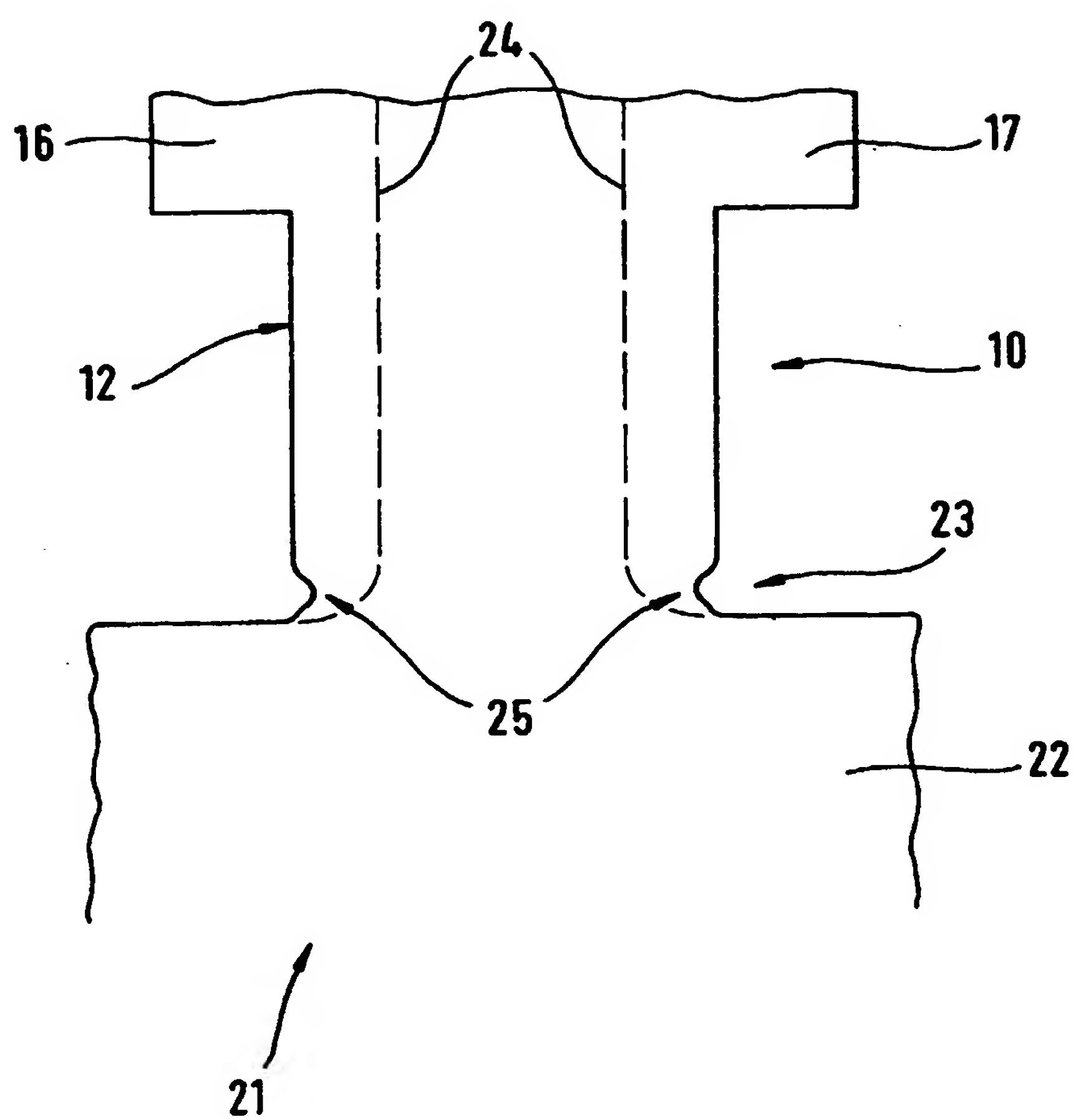


Fig. 7